1914

Aus dem Zoologischen Institut der Universität zu Halle a. S.

1914

Über die Farben der Vogelfedern.

I. Die Grünfärbung auf Grundlage der Blaustruktur.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Günther Kniesche
aus Kötzschau.

LANE MEDICAL LIBRARY
STANFORD UNIVERSITY
300 PASTEUR DRIVE
PALO ALTO, CALIF.

Halle 1914.

Dekan: Geh.Rat Prof. Dr. Wangerin.

Referent: Prof. Dr. Haecker.

Abdruck
aus den
Zoologischen Jahrbüchern. Bd. 38. Abt. f. Anatomie. Heft 3. 1914.
Herausgegeben von Prof. Dr. J. W. Spengel in Gießen.
Verlag von Gustav Fischer, Jena.

Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht vorbehalten.

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung und Literatur	1
Material und Methoden	3
Bau der Kästchenzellen	7
Die Verbreitung der Kästchenzellen in den Federn	11
Die Entstehung der Kästchenzellen	13
Ursachen der grünen Farbe der Vogelfedern	15
Der Einfluß der Radien auf die Bildung der grünen Farbe	23
Unterschied zwischen grünen Federn beim männlichen und weiblichen Vogel	24
Über den Einfluß des Ramus auf die Farbe der Feder	25
Über die phylogenetische Stellung der grünen Farbe der Feder zu den anderen Farben	27
Zusammenfassung	29

Einleitung.

Über die Grünfärbung der Vogelfedern liegen verhältnismäßig wenig Mitteilungen vor. Fatio gibt 1866 in seiner Arbeit: Des

diverses modifications dans les formes et la coloration des plumes, an, daß bei blauen und auch bei grünen Federn sich unter der Rindenschicht eine Lage von großen polygonalen Zellen befindet, welche er mit einem „Email" vergleicht. Er benennt diese Federn im Gegensatz zu den plumes optiques (den metallisch glänzenden) plumes émailles. 1844 stellte Krukenberg in seiner Arbeit: Grundzüge einer vergleichenden Physiologie der Farbstoffe und Farben eine Reihe von Pigmenten zusammen, die in den Federn vorkommen. Er erwähnt das grüne Pigment der Bananenfresser, gibt Aufschlüsse über die gelben und braunen Pigmente in den Federn der Paradiesvögel, Spechte und Papageien. Er spricht aber immer nur von Pigment allein und nicht von dem Zusammenwirken der Pigmente mit der Farbstruktur. 1890 hat Haecker[1]) in seiner Arbeit: Über die Farbe der Vogelfedern, darauf aufmerksam gemacht, daß das Grün der Federn auf verschiedene Weise entstehen kann. Abgesehen von den Fällen, in denen grünes Pigment die Hauptrolle spielt, soll nach Haecker Grün sich bilden: durch Hinzutreten von gelbem Pigment zu den die Blaufärbung bewirkenden Schirmzellen (*Calyptomena viridis*), durch Trübung gelber Federn infolge Auftretens von braunem Pigment und dadurch, daß sich schwarze Federn unter gelbe lagern. In einer weiteren 1902 erschienenen Arbeit, die Haecker zusammen mit dem Freiburger Physiker Meyer verfaßte, wird gesagt, das Grün entstände vorwiegend durch die kombinierte Wirkung der Luftfüllung einer gewissen Schicht der Markzellen, welche bezüglich ihres Aussehens schon sehr an die Kästchenzellen (Schirmzellen) erinnern, der Gelbfärbung der Rindenschicht und der Braunfärbung der Federstrahlen.

Da die Ansichten über das Entstehen der grünen Farbe (es wird im folgenden immer nur von nicht metallisch glänzenden grünen Farben die Rede sein) in den Federn noch nicht vollständig geklärt war, so erschien es angebracht, dieses Thema genauer zu bearbeiten. Die Anregung hierzu wurde mir von Herrn Prof. Dr. Haecker, Direktor des Zoologischen Instituts der Universität Halle, dem ich für seine Bereitwilligkeit und Unterstützung mit Rat und Tat außerordentlichen Dank schulde. Ebenso möchte ich an dieser Stelle Herrn Geheimrat Dorn für seine Aufklärung physikalischer Fragen und Herrn Prof. Dr. Gebhardt für die Her-

1) Vgl. Haecker, in: Arch. mikrosk. Anat., Vol. 35, 1890. Haecker und Meyer, in: Zool. Jahrb., Vol. 15, Syst., 1902.

stellung der Mikrophotographien meinen Dank sagen. Die Herren cand. zool. Honigmann und Rosenbaum haben mich außerordentlich verpflichtet durch ihre Unterstützung bei der Herstellung der bunten Zeichnungen. Das Material wurde mir in liebenswürdiger Weise von Herrn Prof. Haecker zur Verfügung gestellt. Es entstammt der Vogelsammlung des Zoologischen Instituts der Universität Halle-Wittenberg. Diese Sammlung ist besonders reich an Vogelmaterial aus Südamerika, das Burmeister von seinen Reisen mitbrachte. Die einheimischen Vögel stammen meistens aus selbst gesammelten Material sowie aus der faunistischen Sammlung und der Balgsammlung des genannten Instituts.

Material und Methoden.

Bei einer vorläufigen Untersuchung stellte sich sehr bald heraus, daß die von Haecker u. Meyer im Jahre 1902 einwandfrei festgestellten „Kästchenzellen" (Email bei Gadow, Schirmzellen bei Haecker 1890) als Träger des trüben Mediums (Blaustruktur) eine viel größere Verbreitung in den Federn allgemein und bei den grünen speziell finden, als vorher angenommen wurde. Daher sah ich mich genötigt diese Kästchenzellen mit ihrer Blaustruktur und in ihren Einzelheiten noch genauer zu studieren, als es bisher geschehen ist, um eine genügende Unterlage für die Betrachtung der grünen Federn zu gewinnen. Die Kästchenzellen der blauen Federn zeigen sich unter dem Mikroskop im auffallenden Lichte meist als eine einzige, dicht unter der Rinde gelegene mosaikartige Schicht viereckiger, vieleckiger, runder oder ovaler Zellen (vgl. z. B. Taf. 1 Fig. 12), die bei auffallendem Licht eine gleichmäßig blaue Farbe aufweisen. In durchfallendem Lichte erscheinen uns die Zellen gelblich bis rotbraun, je nach Stärke und Zahl der Zellen (Taf. 3, Fig. 1 b, c), und bilden infolge der gleich zu besprechenden Luftverteilung, wie Haecker u. Meyer schon feststellten, ein trübes Medium im Sinne der Physiker, d. h. es handelt sich um ein Gemenge zweier in diesem Falle durchsichtiger Mischungen, welches die Eigenschaft hat, im auffallenden Lichte vorzugsweise blaue Strahlen zu reflektieren, im durchfallenden Lichte gelblich-rot bis rotbraun zu erscheinen. Über die Anordnung der Zellen in der Feder wird weiter unten genauer berichtet werden. Daß diese Kästchenzellen wirklich die Träger des blauen Lichtes (trübes Medium) sind, kann man mit Leichtigkeit feststellen, indem man die obersten

Schichten der blauen Federn, die sogenannte Rindenschicht und die Kästchenzellen, abkratzt oder abschneidet. Es entstehen dann sofort an der Stelle, die der Schnitt getroffen hat, schwarze oder braune Stellen, das Pigment, das in den tiefer gelegenen Markzellen gelagert ist, ist frei geworden und scheint durch. Haecker u. Meyer vermuteten, daß das trübe Medium, das die Kästchenzellen bilden, dadurch zustande kommt, daß die dicke, durchweg verhornte Wandung der Kästchenzellen von sehr feinen Röhrchen (Durchmesser = 0,3 μ, *Malurus pectoralis*), die mit Luft gefüllt sind, ganz und gar durchsetzt, so daß eine sehr feine Verteilung von Luft im Horn und damit ein trübes Medium zustande kommt. Es war mir also hiermit ein Anhaltspunkt gegeben, an dem ich angreifen konnte. Es gelang bei der Voruntersuchung in der Tat, in den Kästchenzellen Strukturen zu sehen, welche mit der größten Wahrscheinlichkeit als Röhrchen angesprochen werden konnten, und zwar, wenn man Schnitte von gehöriger Dicke (20—30 μ) in recht dicken Canadabalsam einlegte. Dann konnte offenbar der Canadabalsam nur sehr langsam in die außerordentlich feinen Kanälchen eindringen, er erhärtete schon im Anfangsstadium des Eindringens, so daß ich öfters eine feine Strichelung mit der Immersion feststellen konnte. Der Canadabalsam hat nach den Versuchen von Haecker u. Meyer denselben Brechungsexponenten (1,52) wie die Zellwandsubstanz, das Horn der Feder. Deswegen verschwindet die beschriebene, beim langsamen Eindringen des Balsams sichtbar werdende Struktur, nachdem er ganz eingedrungen ist, vollständig. Um nun den wirklichen Nachweis zu führen, daß es sich bei dieser Struktur tatsächlich um Röhrchen und Kanälchen handelt, mußte eine Flüssigkeit gefunden werden, die einen von der Hornsubstanz verschiedenen Brechungsexponenten hatte und die die wünschenswerten Eigenschaften zum Ausfüllen der Kanäle zeigte.

Es wurden nun bei sehr verschiedenen blauen Federn mit allen möglichen Flüssigkeiten die Kästchenzellen injiziert. Das Federmaterial bestand zumeist aus alten Bälgen, manches wurde auch von frischen Vögeln genommen, es stellte sich jedoch absolut kein Unterschied heraus, ob die Feder intra vitam oder post mortem genommen wurde. Es standen mir zur Verfügung blaue Federn von:

Vireolanius pulchellus
Melopsittacus undulatus
Phyllornis icterocephalus
Alcedo ispida

Garrulus glandarius
Corvus cyanocorax
Kitta thallassina
Malurus pectoralis
Cotinga amabilis
Pitta maxima

Von diesen wurden bald als die brauchbarsten erkannt die mit besonders großen Kästchenzellen versehenen Federn von *Malurus pectoralis*, *Alcedo ispida* und *Pitta maxima*. Bei der letzteren kam noch hinzu, daß die Rami (Federäste erster Ordnung) fast ohne Radii (Federstrahlen zweiter Ordnung) waren, so daß durch letztere beim Schneiden keine Schwierigkeiten entstanden. Die Federn oder Teile derselben wurden, nachdem allerhand Methoden probiert worden waren, ohne sie erst in Xylol zu bringen, direkt in flüssiges Paraffin von größter Härte gebracht, sehr schnell unter fließendem Wasser abgekühlt und gehärtet und sogleich geschnitten. Aufgeklebt wurde meist mit der gewöhnlichen Wasser-Aufklebe-Methode oder nach der Methode von Schällibaum. Es gelang mir auf diese Weise, bei dem sehr spröden Material Schnitte von $2^1/_2$—3 μ herzustellen. Je nachdem wurden dann die Schnitte mit der Versuchsflüssigkeit behandelt oder in Canadabalsam eingebettet. Es wurde jedoch auch viel mit den ungeschnittenen Rami gearbeitet. Sie wurden zwischen zwei Glasplatten gequetscht, oder es wurde die Spitze der Rami abgeschnitten, damit die Flüssigkeiten besser eindringen konnten.

Die Versuche mit Flüssigkeiten von höherem oder niedrigerem Brechungsexponenten als das Horn (Mastix, Methylalkohol, Creosot, Schellack, Terpentin, Photoxylin, konz. wäss. Phosphor-Wolframsäure, konz. wäss. Phosphor-Molybdänsäure, Ricinusöl, Cedernöl u. v. a. m.) zeigten bald trotz ihrer Mannigfaltigkeit, daß sie zu keinem Ergebnis führen würden. Denn entweder drangen die Flüssigkeiten zu schnell ein und zeigten dann nur einen Moment die Kanälchen als feine Strichelung, oder sie drangen überhaupt nicht ein. Es wurde deshalb versucht, die Federn mit der Luftpumpe zu evakuieren, ihnen also die zur Erzeugung des trüben Mediums notwendige Luft zu entziehen, um dann in die so entleerten Kanälchen leichter die betreffende Flüssigkeit hineinzubringen. Der Direktor des Halleschen Physikalischen Institutes, Herr Geheimrat Prof. Dr. Dorn, besaß die außerordentliche Liebenswürdigkeit, mir eine Luftpumpe (Quecksilberpumpe) zur Verfügung zu stellen. Die blauen Federteile wurden in ein Glasröhrchen gebracht und so stark evakuiert, als es

überhaupt möglich war, dann wurden die Röhrchen zugeschmolzen. Dabei zeigte es sich, daß die Federn ihre blaue Farbe beibehielten, trotzdem sie nur noch Spuren von Luft enthalten konnten, eine Erscheinung, die wohl darin ihre Erklärung findet, daß der Brechungsexponent des Vacuums derselbe ist wie der der Luft. Die Röhrchen wurden dann in ein Gefäß mit der betreffenden Injektionsflüssigkeit gebracht und ihre Spitze unter dem Spiegel der Flüssigkeit abgebrochen, so daß die Flüssigkeit sehr schnell eindrang und auch die Federn füllte. Das Resultat war dasselbe, es zeigten sich keine guten Bilder. Ein anderer Weg mußte also eingeschlagen werden.

Es war von vornherein klar, daß man die Kanälchen sehen mußte, wenn ihre Wandung gefärbt oder mit einem Niederschlag versehen wurde. Verschiedene Färbungsmethoden wurden deshalb angewendet, alle bekannten Färbemittel färbten aber auch die Hornsubstanz vollständig mit, so daß auch hiermit kein Resultat erzielt werden konnte. Auch die Niederschlagsmethoden von Golgi und die Methoden zur Ausfüllung der Knochenkanälchen erzielten keinen Erfolg. Es mußte eine Flüssigkeit gefunden werden, die so fein verteilt einen Stoff in Lösung enthielt, daß dieser in die Röhrchen eindringen konnte und sich, nachdem die Flüssigkeit verdunstet war, an den Wänden der Kanälchen niederschlug. Nach vielem Probieren kam ich auf eine beliebig dicke Lösung von farblosem Spirituslack. Die Federn wurden an den Spitzen der Rami beschnitten und 1—2 Tage in den Lack gelegt, dann herausgenommen und getrocknet. Die Federn behielten dabei ihre blaue Farbe, nur daß diese nicht mehr so intensiv war. Dann wurden die Federn schnell in absolutem Alkohol abgewaschen, damit die oberste Hornschicht frei von Lack wurde, und in Canadabalsam eingebettet oder mit dem Mikrotom geschnitten. Bei letzterem Verfahren mußte darauf geachtet werden, daß die Federn möglichst schnell im Paraffin wieder abgekühlt wurden, damit der an den Wänden der Kanälchen niedergeschlagene Lack nicht zum völligen Schmelzen kam. Bei dieser Methode zeigte sich die feine und feinste Struktur der Kästchenzellen vorzüglich. Manche der Zellen wurden zwar nicht ganz von Lack ausgefüllt und erschienen dann im Mikroskop durchsichtig oder teilweise getrübt. Andere Zellen waren halb ausgefüllt, oder nur der Hohlraum war gut gefüllt und die Wandung leer, oder umgekehrt. Gerade diese scheinbaren Mängel ergaben die verschiedensten Bilder in den verschiedensten Stadien und erleichterten so die Beobachtung sehr. Sehr oft war es auch möglich, den Vorgang des Eintrocknens

des Spirituslackes zu beobachten. Auch die hier erwähnte Methode hat nicht immer gleichmäßig deutliche Bilder ergeben, und vor allem ist es nicht möglich, auf den Mikrophotographien die Verhältnisse so wiederzugeben, daß ein skeptischer Beurteiler sich ohne weiteres überzeugen ließe. Denn die Gestalt der Zellen und der unregelmäßige Verlauf der Röhrchen bringt es mit sich, daß bei Einstellung einer Ebene die gesamten Verhältnisse niemals in schematischer Weise zum Vorschein kommen, aber beim Vergleich zahlreicher Bilder kommt man zu der festen Überzeugung, daß es sich tatsächlich um gerade und gewundene zylindrische Röhrchen handelt.

Der Bau der Kästchenzellen.

Die Kästchenzellen sind in 4 Abschnitte zu zerlegen. (Siehe beigegegebenes Schema A.)

I. Ein Hohlraum im Innern.

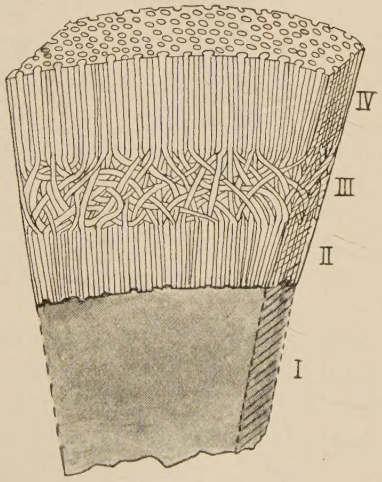
II. Zone der Kanälchen, die an den Hohlraum sich ansetzen wie die Stacheln eines Seeigels.

III. Zone der knäuelförmigen Kanalabschnitte und unregelmäßigen Zerklüftung.

IV. Zone der Kanälchen, die von der Oberfläche der Zelle radiär auf den Hohlraum zugehen.

Zu I wäre zu bemerken:

Der Hohlraum im Innern der Kästchenzellen ist je nach der äußeren Wand der Zelle kugelförmig, eiförmig, würfelig oder unregelmäßig. Er erscheint bei dünnen Schnitten demgemäß als Kreis, Oval, Viereck oder Vieleck. In der ganzen Feder betrachtet, wirkt er, wenn er allein mit Luft gefüllt ist und die Röhrchen ein anderes Medium enthalten, wie eine in Canadabalsam eingeschlossene Luftblase, als silbrige Kugel (Taf. 3 Fig. 1). Ist die ganze Zelle einschließlich der Röhrchen noch mit Luft gefüllt, so sieht man den Hohlraum in der in durchfallendem Licht bräunlich erscheinenden Kästchenzelle als scharf abgegrenzten Körper (s. Taf. 3 Fig. 1b und

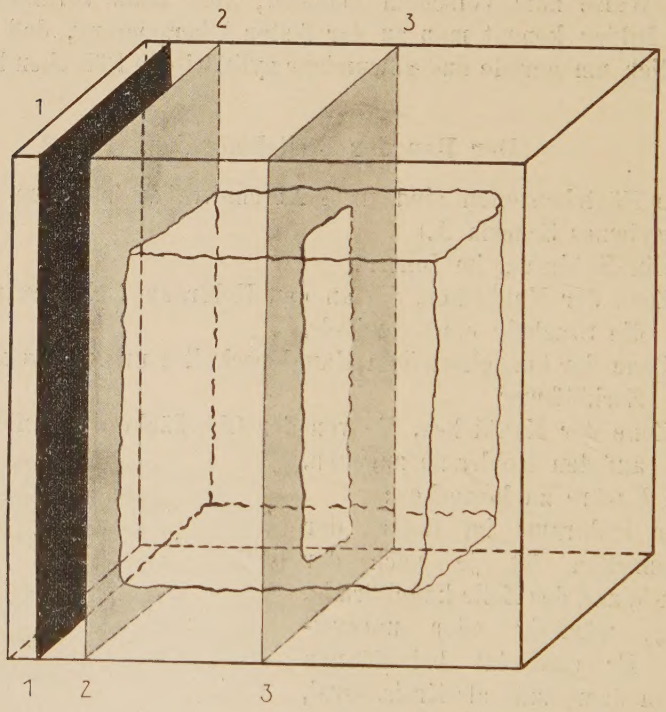


Schema A.

Photographie Taf. 4 Fig. 1). Wenn die Zelle dagegen ganz mit Canadabalsam gefüllt ist, ist er nicht oder fast gar nicht zu erkennen (s. Taf. 3 Fig. 1a und Photographie Taf. 4 Fig. 1).

Zu II wäre zu bemerken:

Die Länge der zylindrischen Kanälchen, die vom Hohlraum ausgehen, ist bedingt durch die Stärke der Wandung, so daß also bei dünner Wandung (vgl. das Schema C bei *a*) die Kanälchen der



Schema B.

Zone II sich mit denjenigen der Zone IV vereinen, also die Wandung glatt durchbrechen. Ist die Wandung stärker (vgl. das Schema C bei *b*), so erstrecken sich die Kanälchen der Zone II meist bis in das erste Drittel der Wandung, dann gehen sie über in die Zone III.

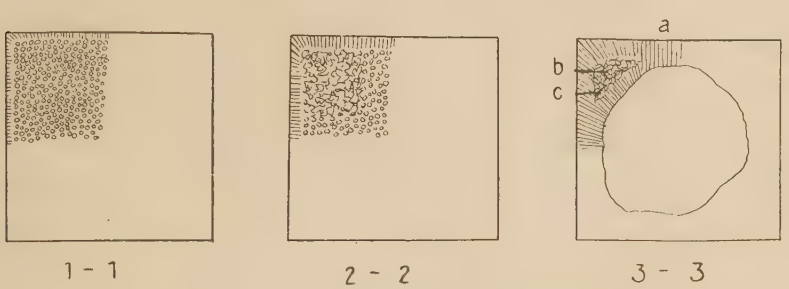
Zu III wäre zu bemerken:

In dieser Zone zeigen die Kanälchen einen ähnlich verschlungenen Verlauf wie etwa die Kanälchen in der Rinde der Säugetierniere. Zwischen ihnen liegen aber unregelmäßige Spalten und Klüfte. Das ganze Bild ist wiederum abhängig von der Stärke der Wandung:

je schwächer die Wandung ist (vgl. Schema C bei *c*), umso leichter kann man bei verschiedener Einstellung ein Kanälchen der Zone II verfolgen, bis es in mehreren oder wenigeren Windungen übergeht in die Kanälchen der Zone IV. Ist die Wandung stärker (vgl. Schema C bei *b*), so treten in der Übergangszone zwischen II und IV öfters unregelmäßige Klüfte und Spalten in den Vordergrund.

Zu IV wäre zu bemerken:

Die Kanälchen, die von der Oberfläche der betreffenden Zelle ausgehen, sind ungefähr ebenso lang wie die der Zone II. Sie sind in sehr vereinzelten Fällen nach der Außenfläche zu gering trichterförmig ausgebildet.



Schema C.

Vergegenwärtigen wir uns also diese 4 Zonen, wie sie uns bei gewissen Schnitten durch die Zelle oder gewisser Einstellung theoretisch entgegentreten.

Legen wir einen Schnitt (s. Schema B u. C) in der Ebene 1—1 durch die Zelle, so erhalten wir eine Fläche Hornsubstanz, die einem gelochten Blech oder einem Sieb mit runden Löchern ähnelt, sie zeigt uns eine mehr oder weniger regelmäßig mit runden oder ovalen Poren versehene Scheibe. Nur am Rande erhalten wir Röhrchen in Längsschnitt.

Schnitt 2—2 gibt ein verändertes Bild. Die Ränder zeigen uns Kanälchen im Längsschnitt, die Mitte wird von einem mehr oder weniger regelmäßigen Kreuz von Poren durchsetzt sein, und die Zwischenräume zeigen sich als unregelmäßige Risse und Kanäle, event. auch als Poren, wenn ein solches Kanälchen senkrecht zu seiner Achse getroffen wurde.

Schnitt 3—3 zeigt uns ein ähnliches Bild, nur daß in der Mitte ein Hohlraum sichtbar wird.

Die Bilder auf Taf. 4 zeigen uns einige dieser Stadien, wie sie

sich in Wirklichkeit dem Auge darbieten. So sehen wir auf dem Bild No. 1 (Photographie eines Ramusschnittes von *Pitta maxima*) Kästchenzellen in 4 verschiedenen Stadien und zwar die Zellen *a* ganz gefüllt mit Canadabalsam. Die Wirkung des trüben Mediums ist aufgehoben, wir sehen Zellen mit sehr schwacher Umgrenzung und sehr wenig hervortretenden Hohlraum. Kästchenzelle *b* ist noch ganz mit Luft gefüllt, abgesehen davon, daß sich bereits an der Wandfläche der Röhrchen ein dünner Niederschlag von Lack gebildet hat, der Balsam ist nur am Rande der Zelle in die Röhrchen eingedrungen, so daß wir sogar auf der Photographie recht deutlich die radiär gerichteten Kanälchen sehen. Kästchenzelle *c* zeigt uns eine ebenso mit Lack gefüllte Zelle, in die der Balsam schon bedeutend weiter eingedrungen ist. Wir sehen am oberen Rand noch deutliche Röhrchen, die sich aber bald in einem Gewirr von Poren, gewundenen Kanälchen und Klüften verlaufen. Kästchenzelle *d* zeigt den Prozeß noch weiter fortgeschritten, ist aber auf der Photographie nicht scharf geworden, da man ja immer nur eine Ebene einstellen kann.

Die Fig. 1 auf Taf. 3 soll das ergänzen, was man auf der Photographie nur schwer oder gar nicht sehen kann. Die Kästchenzellen *b* und *c* zeigen ungefähr dasselbe wie auf der Photographie, man sieht hier aber noch die obenerwähnte rotbraune Färbung in durchfallendem Licht (trübes Medium). Zelle *d* zeigt diese Färbung nicht mehr, weil nur noch die Kanälchen der Zone II und der Hohlraum Zone I mit Luft gefüllt sind, das trübe Medium also nicht mehr so stark wirken kann. Hier sehen wir also direkt auf die Kanälchen, die uns demgemäß als Poren eines unregelmäßigen Siebes erscheinen. Zelle *e*, die in der Photographie so gut wie gar nicht zu sehen ist, gibt uns ein eigenartiges Bild, sie ist von einem oberflächlichen Schnitt gerade getroffen worden. Der Canadabalsam hat gut eindringen können, und man sieht nicht nur am Rande der Zelle, sondern auch um den als Luftblase wirkenden Hohlraum zahlreiche Kanälchen, wie die Stacheln eines Seeigels angeordnet. Bei höherer Einstellung zeigt der Hohlraum ein Bild wie bei Zelle *d*. Die danebenliegende Kästchenzelle *f* zeigt nur noch einen Teil des Hohlraums mit Luft gefüllt.

Ähnliche Bilder geben uns die Photographie und die Zeichnung Taf. 4 Fig. 2 u. 3 und Taf. 3 Fig. 2 u. 3 einer oben grünen und unten blauen Feder von *Tanagra rubricollis* und von *Chloris chloris*.

Auf diese Schnitte werde ich bei Besprechung der grünen Federn näher eingehen.

Die hier beschriebene Struktur der Kästchenzellen ist die Trägerin des trüben Mediums, das ganz nach seiner Anordnung bald dunkler blau, bald heller blau, bald grünblau erscheinen kann. Ich habe gefunden, daß, je enger die Kanälchen stehen und je feiner sie sind, die Blaufärbung um so reiner und intensiver ist. Je gröber sie sind und je weiter die Kanälchen stehen, um so weniger intensiv blau ist das abgegebene Licht, es ist in diesem Falle entweder sehr mattblau oder grünblau. Wesentlich ist aber auch für die Farbenwirkung das in den darunter gelegenen Markzellen befindliche Pigment, das als eine die roten und gelben Strahlen resorbierende Schicht wirkt. Wenn man z. B. die unteren Zellenlagen (also die Zellen *f* und *e* in Taf. 3 Fig. 1) und das Pigment einer *Pitta*-Feder abkratzt, so daß nur die obere Kästchenzellage überbleibt, so verliert diese etwas von ihrer Blau-Intensität, sie erscheint etwas heller, groß ist jedoch der Unterschied nicht. Über die Lageverhältnisse der Kästchenzellen bei grünen Federn werde ich in den betreffenden Kapiteln berichten.

Die Verbreitung der Kästchenzellen in den Federn.

Die Kästchenzellen mit ihrer Kanälchenstruktur fand ich nun aber nicht bloß in den blauen Federn, sondern mehr oder weniger deutlich in Federn aller Farben, soweit sie noch Markzellen zeigen. Je nach der Dicke dieser Markzellen sind die Kanälchen bald leichter bald schwerer zu erkennen. Bei den am besten entwickelten blauen Federn finden wir meist ein oder zwei Schichten der Markzellen in höchstentwickelte Kästchenzellen umgewandelt, die übrigen Markzellen sind dann meist sehr dünnwandig und Träger des braunen Schollenpigments. In andersfarbigen Federn sind aber die betreffenden Zellen ganz oder teilweise mit Pigment durchsetzt, und oft sind die Markzellen so dünnwandig, daß man nicht mehr von Kanälchen, sondern nur von siebartig angeordneten Poren sprechen kann. Wie weit die Verbreitung dieser Zellen mit Kanälchen ist, zeigt der Umstand, daß selbst Federn, welche mit ganz andern Mitteln intensive Färbungen erreichen, daneben noch die „Blaustruktur“ aufweisen. So fand ich in den intensiv gelben Federn des männlichen Pirols (*Oriolus galbula*) leicht mit der oben angegebenen Methode in den Rami, die ganz von gelbem diffusem Pigment erfüllt sind, doch

noch Reste von Zellen mit Blaustruktur eingelagert, die ganz dieselbe Anordnung und ganz dasselbe Gefüge zeigen wie die sehr gut ausgebildeten Kästchenzellen mit Blaustruktur in den Rami der olivgrünen Federn des jungen Pirols. Bei *Pitta maxima*, deren intensiv blaue Flügeldeckfedern (Taf. 3 Fig. 1) mir das beste Material zur Konstatierung der Struktur der Kästchenzellen gaben, ist Brust und Bauch weiß gefärbt. Schnitte durch diesen weiße Federn (oder auch die ganze Feder betrachtet) zeigen uns eine wohlgebildete Zellenlage mit Blaustruktur, die kein Pigment führt, also auch den Federn keine genügende Unterlage bietet, um blau zu werden. Sieht man diese Federn aber schräg von der Seite an oder legt man sie auf einen dunklen Untergrund, so nimmt man einen leicht blauen Schimmer wahr. Ebenso zeigen die Markzellen der braunen Federn von *Pitta maxima* gutausgebildete Kanälchen. Die grünen Federn vom Bananenfresser (*Turacus persa*, Taf. 3 Fig. 4), die mit grünem Pigment gefärbt sind, ebenso wie die fein zerschlissenen ebenfalls mit grünen Pigment ausgestatteten Wangenfedern der Eiderenten (*Somateria*-Arten) zeigen, trotzdem sie es gar nicht zur Erzeugung ihrer grünen Farbe brauchen, eine wohlausgebildete Blaustrukturzellenlage. Das Erstaunlichste ist aber wohl das Vorkommen der Zellen mit Kanälchenstruktur in roten und violetten Federn. So zeigen die roten Handschwingen der Bananenfresser, ebenso wie die violetten Halsfedern von *Cotinga amabilis*, sehr gute Blaustrukturzellen, die wieder ähnlich wie beim Pirol in den Rami verteilt sind. Die roten Federn der Bananenfresser, der Turacos, die einen besonderen roten Farbstoff, das Turacin, enthalten, waschen sich beim Regen oder beim Baden aus, und die Federn zeigen einen deutlich blauen Schimmer, bis in einer bis jetzt unbekannten Weise der Farbstoff wieder hergestellt ist und die Feder wieder dunkelrot erscheint. Diesen Vorgang habe ich oft am lebenden Vogel in den Zoologischen Gärten zu Halle und Leipzig beobachten können. Die Federn am Balg zeigen diese Eigenschaften nicht mehr, jedoch kann man ihnen das Turacin durch Säuren entziehen. Bei vielen untersuchten Federn von brauner, weißer und andersfarbiger Beschaffenheit zeigten sich immer Kästchenzellen mit Blaustruktur. Wie ist nun die weite Verbreitung dieser Strukturen zu erklären?

Nach meiner Ansicht ist die von Haecker u. Meyer zuerst für die Blaufedern festgestellte Poren- oder Kanälchenstruktur eine ganz allgemein den Markzellen zukommende primäre

Struktur, welche sekundär unter Verfeinerung und Vermehrung der Kanälchen sowie unter gleichzeitiger Ausbildung der übrigen charakteristischen Verhältnisse zur Blaustruktur geworden ist. Ich möchte für Zellen dieser Art den Sammelnamen Kanälchenzellen vorschlagen, so daß also derartige Zellen mit blauem Licht speziell als Kanälchenzellen mit Blaustruktur oder als trübe Mediumzellen zu bezeichnen wären. Blau wird nur dann auftreten können, wenn das Verhältnis zwischen den durch die Dicke der Kanälchen gebildeten Luftzylindern ein bestimmtes ist zu der umgebenden Hornmasse, wenn die Verteilung des einen Mediums, Luft, in dem andern, Horn, fein genug geworden ist, um ein trübes Medium bilden zu können. Die Natur hat also hier eine allgemein vorhandene Anlage sehr kunstvoll ausgebaut und ausgenützt.

Die Entstehung der Kanälchenzellen

erkläre ich mir folgendermaßen:

Beim Verhornungsprozeß in der Federanlage wird die ganz mit Plasma gefüllte Zelle allmählich einem Eintrocknungsprozeß unterworfen, der damit seinen Anfang nimmt, daß im Zentrum der Zelle eine Gasblase, der spätere Hohlraum, abgeschieden wird, die sich in ihrer Form der äußeren Zellwand anpaßt, während sich das Plasma nach den Wänden hin zurückzieht. Wir haben dadurch zwei Hauptspannungszentren erhalten: 1. die Wandung des entstandenen Hohlraums, 2. die Wandung der Zelle selbst. Da die Wandung des Hohlraums ebenso wie die Wandung der Zelle keine Möglichkeit haben, sich irgendwie oder wohin auszudehnen, so müssen notwendig in dem noch vorhandenen weichen Plasma, das sich zwischen besagten beiden Wandungen befindet, beim Verhornen dieses Plasmas, d. h. bei seinem Eintrocknen, Hohlräume entstehen. Da wir aber zwei festliegende Zentren für Spannungen haben, so werden sich die entstehenden Hohlräume zwischen diesen zwei Zentren (der Hohlraumwandung und der Zellwandung) einstellen müssen. Da der Eintrocknungsprozeß ein gleichförmiger ist, so steht nichts im Wege, daß der einfachste Körper, den ein langgestreckter Hohlraum einzunehmen in der Lage ist, der Zylinder, als Hohlraum im eintrocknenden Plasma entsteht. Je nach der Größe des inneren Hohlraums der Zelle (Zone I) und je nach der Dicke des einzutrocknenden Plasmas werden zwei Arten von Zylindern (Röhrchen) entstehen.

1. Ist der Hohlraum klein, so ist die Plasmawandung dick, die Spannungen, die einerseits von dem Hohlraum, andrerseits von der Zellwandung ausgehen, werden den Raum, den das Plasma einnimmt, nicht ganz erfüllen können. Es werden also nur am Hohlraum und nur an der Zellwand radiär zwischen Hohlraumwand und Zellwand eingestellte Röhrchen entstehen (Zone II u. IV). Zwischen ihnen in dem spannungslosen Raum (Zone III) wird eine regellose Masse von Hohlräumen, seien es zylinderförmige oder andere Spalten, entstehen.

2. Ist der Hohlraum (Zone I) groß, so ist die Plasmawandung dünn, die Spannungen, die einerseits von dem Hohlraum, andrerseits von der Zellwandung ausgehen, werden also den Raum, den das Plasma einnimmt, ganz erfüllen können. Es werden also gerade, zwischen innerem Hohlraum und Zellwand radiär eingestellte Zylinder (Röhrchen) entstehen.

Die nach No. 1 entstandenen Kanälchenzellen werden die vollkommensten Zellen (Kanälchenzellen mit Blaustruktur oder trübe Mediumzellen) darstellen. Sie finden sich also nur in den höchststehenden Schmuckfedern blauer oder intensiv grüner Farbe. Die nach No. 2 entstehenden Kanälchenzellen werden in allen Federn, soweit überhaupt noch Markzellen vorhanden sind, aufgefunden werden können.[1])

1) Ich habe den Versuch gemacht, die Bildung der Kästchenzellen in der embryonalen Feder festzustellen. Dazu brauchte ich Material von Jungvögeln, bei denen sowohl beim Männchen als auch beim Weibchen an gleicher Körperstelle blaue oder grüne Federn zu finden sind, da man bei ganz jungen Vögeln das Geschlecht noch nicht einwandfrei unterscheiden kann und die Männchen oft blaue oder grüne Federn tragen, während das Weibchen an der betreffenden Stelle ganz anders gefärbt ist. Außerdem mußte ich Reihen von Vögeln in den verschiedensten Entwicklungsstadien konservieren, um den Zeitpunkt finden zu können, an dem sich das Horn der Federzellen verhärtet. Diese Bedingungen erfüllten die Wellensittiche (*Melopsittacus undulatus*), bei denen beide Geschlechter gleichgrün gefärbten Bauch haben. Sie sind in Mengen zu haben, da sie gezüchtet werden. Der Direktor des Zoologischen Gartens zu Breslau, Herr Grabowsky, stellte mir eine große Anzahl von Embryonen in den verschiedensten Stadien zur Verfügung, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen Dank sage. Es gelang mir jedoch nicht das Material zur Klärung der oben erwähnten speziellen Frage zu verwerten.

Ursachen der (nicht metallischen) grünen Farbe der Vogelfedern.

Nachdem das Wesen der Kanälchenzellen, der Träger des trüben Mediums, im vorigen festgestellt worden ist, werde ich in den folgenden Kapiteln zu meinem Hauptgegenstand übergehen und zu erklären versuchen, wie die grüne Farbe der Vogelfedern entsteht.

Es folgt hier eine Zusammenstellung von halbschematischen Abbildungen der Schnitte durch verschiedene grüngefärbte Federn. Und zwar wurden, soweit es angängig war, Federn von gleichen Körperstellen entnommen und die Rami bestimmter Stellen in gleicher Höhe geschnitten. Alle Schnitte sind 10 μ stark. Es handelt sich meist um Flügeldeckfedern, die unterhalb der Flügelbeuge entnommen wurden, sonst um Bürzel- Bauch- oder Rückenfedern, wenn an der Flügelbeuge des betreffenden Vögels keine oder nur unvollkommen grüne Federn waren. Ich führe die Schnitte im folgenden nicht dem System der Vögel entsprechend an, sondern nach Farben geordnet. Und zwar habe ich bei der Bestimmung der Farben mich gerichtet nach der „Chromotaxia seu nomenclator colorum“ von P. A. Saccardo, editio tertia. Ich habe demnach folgende Typen angenommen:

1. citrinus, citronenfarbig (24)
2. flavo-virens, gelbgrün (33)
3. viridis, grün (35)
4. aerugineus, spangrün (37)
5. atro-virens, dunkelgrün (34)
6. olivaceus, olivenfarbig (39)

Die Bestimmung wurde nicht am Vogel, sondern an der herausgenommenen Feder auf dunklem Hintergrund vorgenommen. Selbstverständlich sollen die 6 angegebenen Farben nur Typen sein, innerhalb deren die Farben der betreffenden Federn eine Nuance darstellen. Zugleich werde ich in der Zusammenstellung auch die Farbe der Radii angeben. Taf. 1 u. 2 zeigen die im Folgenden aufgezählten Schnitte mit der entsprechenden fortlaufenden Nummer.

I. Citrinus, citronenfarbig (24).

1. *Fringilla coelebs.*
Buchfink.

Rücken, Bl.Str.[1]): mittel.
Ramus: helles Citronengelb.
Radius: wenig braun, am Grunde weiß.

2. *Fringilla spinus.*
Fink.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: mittel.
Ramus: citronengelb.
Radius: wenig braun, am Grunde weiß.

3. *Chloris chloris.*
Grünling.

Bürzel, Bl.Str.: mittel.
Ramus: gelb.
Radius: bräunlich.

4. *Motacilla flava.*
Gelbe Bachstelze.

Rücken: Bl.Str.: mittel.
Ramus: hellgelb.
Radius: bräunlich.

5. *Parus major.*
Kohlmeise.

Rücken: Bl.Str.: schwach.
Ramus: gelb.
Radius: gelb, am Grunde weiß.

6. *Chrysomitris citrinella.*
Citronen-Zeisig.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: schwach.
Ramus: gelb.
Radius: braun, am Grunde weiß.

II. Flavo-virens, gelbgrün (33).

7. *Eurylaemus dalhousi.*
Hornrachen.

Bürzel, Bl.Str.: gut.
Ramus: gelbgrün.
Radius: wenig braun.

8. *Agapornis cana.*
Grauköpfchen.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: gut.
Ramus: grüngelb.
Radius: hellgelb.

9. *Melopsittacus undulatus.*
Wellensittich.

Bauch, Bl.Str.: gut.
Ramus: hellgrün.
Radius: gelb (fehlen a. d. Spitze d. Rami).

10. *Palaeornis docilis.*
Halsbandsittich.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: gut.
Ramus: hellgrün.
Radius: bräunlich.

1) Bl.Str. = Blaustruktur.

III. Viridis, grün (35).

11. *Pitta cyanoptera.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

12. *Pitta atricapilla.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

13. *Caica melanocephala.*
Grünzügelpapagei.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

14. *Phyllornis icterocephalus.*
Blattvogel.

Rücken, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

15. *Calyptomaena viridis.*
Smaragdrake.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun (die Spitzen d. Rami sind frei von Radii).

16. *Tanagra rubricollis.*

Brust, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: bräunlich (fehlen an der Spitze der Rami).

17. *Tanagra gyroloides.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: dunkelgrün.
Radius: braun.

18. *Eclectus pectoralis.*
Grünedelpapagei.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: dunkelgrün.
Radius: braun.

19. *Turacus persa.*
Bananenfresser.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: hellgrün.
Radius: braun.

20. *Euphona occipitalis.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: dunkelgrün.
Radius: braun.

21. *Cyanops mystacophanes.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: dunkelgrün.
Radius: braun.

22. *Procnias ventralis.*
Organist.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

IV. Aerugineus, spangrün (37).

23. *Corvus cyanocorax.*
Blaurabe.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: blaugrün.
Radius: braun.

24. *Merops apiaster.*
Bienenfresser.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: gut.
Ramus: gelbgrün.
Radius: braun.

25. *Merops ornatus.*
Spint.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: spangrün.
Radius: braun (fehlen a. d. Spitze der Rami).

V. Atro-virens, dunkelgrün (34).

26. *Pitta maxima.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

27. *Cymborhynchus amictus.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

28. *Ptilorhynchus smithi.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

29. *Nyctiornis albertoni.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

30. *Telephonus januarius.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

31. *Chrysotis amazonica.*
Blaustirn-Amazone.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

32. *Aulacorhamphus sulcatus.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

33. *Prionites martii.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

34. *Chotorhea versicolor.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: sehr gut.
Ramus: grün.
Radius: braun.

VI. Olivaceus, olivengrün (39).

35. *Picus viridis.*
Grünspecht.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: mittel.
Ramus: gelbgrün.
Radius: braun.

36. *Picus canus.*
Grauspecht.

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: mittel.
Ramus: gelb (grünlich).
Radius: braun.

37. *Ixos atriceps.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: gut.
Ramus: grüngelb.
Radius: braun.

38. *Oriolus galbula* juv.
Junger Pirol.

Rücken, Bl.Str.: gut.
Ramus: gelbgrün.
Radius: gelb, an der Spitze braun.

39. *Fringilla chloris.*
Grünfink.

Rücken, Bl.Str.: gut.
Ramus: gelb (grünlich).
Radius: gelb, an der Spitze braun.

40. *Cyanolyseus byroni.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: schwach.
Ramus: gelbgrün.
Radius: braun.

41. *Phylloscopus rufus.*
Weidenlaubvogel.

Rücken, Bl.Str.: gut.
Ramus: schwach gelbgrün.
Radius: bräunlich.

42. *Budytes flava.*
Kuhstelze.

Rücken, Bl.Str.: gut.
Ramus: schwach gelbgrün.
Radius: braun, am Grunde weiß.

43. *Regulus regulus.*
Zaunkönig.

Rücken, Bl.Str.: mittel.
Ramus: hell gelbgrün.
Radius: braun, am Grunde gelb.

44. *Gallinula chloropus.*
Teichhuhn.

Rücken, Bl.Str.: mittel.
Ramus: gelb, an den Spitzen bräunlich-grün, am Grunde weißlich-gelb.
Radius: braun.

45. *Tanagra silens.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: gut.
Ramus: grüngelb.
Radius: braun.

46. *Pipra candei.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: mittel.
Ramus: gelbgrün.
Radius: braun.

47. *Ampelis rifferi.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: gut.
Ramus: hellgrün.
Radius: braun.

48. *Tanagra gouldi.*

Flügeldeckfeder, Bl.Str.: mittel.
Ramus: gelbgrün.
Radius: bräunlich.

Beim Betrachten der Ramusschnitte in ihrer Anordnung nach Farben ergeben sich schon bei einem orientierenden Überblick 4 Hauptgruppen: Rami, in deren Markzellen braunes Pigment (Melanin) auftritt, solche, in denen kein Pigment auftritt, und solche, in denen Schollenpigment nur innerhalb der gelben Zone auftritt. Dazu kommt noch als 4. Gruppe Federn mit grünem Pigment, so daß wir also 4 typische Anordnungen erhalten:

Typ I (Taf. 3 Fig. 2). 3 konzentrische, zusammenwirkende Schichten: Gelbe Rindenschicht (Kreatin), blaue mittlere Schicht, Pigmentschicht als Unterlage. (Bei der abgebildeten Feder von *Tanagra rubricollis* ist auf der Unterseite die Rindenschicht farblos, wodurch die Feder von unten blau erscheint.)

Typ II (Taf. 3 Fig. 3). 2 zusammenwirkende Schichten: die gelbe Rindenschicht umschließt die Markzellen als Träger der Kanälchenzellen mit Blaustruktur.

Typ III (Taf. 3 Fig. 5 u. 6). 2 zusammenwirkende Schichten: die gelbe Rindenschicht mit Einlagerung von Schollenpigment umschließt die Markzellen als Träger der Kanälchenzellen mit Blaustruktur.

Typ IV (Taf. 3 Fig. 4). 2 zusammenwirkende Schichten: die grüne Rindenschicht umschließt die Markzellen als Träger der Kanälchenzellen mit Blaustruktur.

Typ I umfaßt in der Zusammenstellung nach Farben folgende Farbtöne:

2. flavo-virens, gelbgrün (33)
3. viridis, grün (35)
4. aerugineus, spangrün (37)
5. atro-virens, dunkelgrün (34)

Typ II umfaßt:

1. citrinus, citronenfarbig (24)
6. olivaceus, olivenfarbig (39)

Typ III umfaßt einzelne Federn aus:

1. citrinus, citronenfarbig (24)
6. olivaceus, olivenfarbig (39)

Typ IV umfaßt Federn mit grünem Pigment.

Ich werde im Folgenden diese 4 Typen an der Hand der auf Taf. 3 abgebildeten Beispiele und unter Hinweis auf die übrigen, im Text gegebenen, je zu einem Typus gehörigen Formen besprechen.

Typ I, wie ihn Fig. 2 auf Taf. 3 und Phot. 2 auf Taf. 4, Schnitt durch einen Ramus von *Tanagra rubricollis*, repräsentiert.

Wir haben in diesem Schnitt, soweit die Oberseite in Betracht kommt, den Idealschnitt einer grünen Feder vor uns. Deutlich sind 3 konzentrische Schichten zu unterscheiden.

1. Die Rindenschicht, gelb gefärbt durch ein diffuses Pigment (Lipochrom), welches so gleichmäßig in dem Horn verteilt ist, daß man nicht die geringste Körnelung wahrnehmen kann. Der Schnitt zeigt, daß der gelbe Farbstoff in den Seitenkanten des Ramus konzentrierter ist als in der gewölbten Oberfläche.

2. Schicht der Kanälchenzellen als Träger der Blaustruktur. Wir finden in den vorliegenden Schnitten 6 derartige Zellen in 2 voneinander unabhängig angeordneten Schichten (Schicht 2 und 4 auf dem Bild): 4 Zellen als Schicht unter der äußeren gelben Hornschicht und 2 Zellen auf der Unterseite des Ramus nur von einer ganz dünnen Hornschicht, die meist nur schwer sichtbar und in diesem Fall ungefärbt ist, bedeckt. Von den 4 Kanälchenzellen der Schicht 2 sind 2 noch zum größten Teil mit Luft gefüllt und erscheinen im Mikroskop als leicht gelbrot gefärbte Komplexe in durchfallendem Licht (trübes Medium). Sie zeigen am Rande sehr deutlich (auch auf der Phot. 2) die Kanälchen der Zone IV. Der übrige Teil wird eingenommen von einem Gewirr von Spalten und Zerklüftungen. Die beiden anderen Kanälchenzellen der Schicht 2 sind ganz mit Canadabalsam erfüllt und erscheinen uns demgemäß als durchsichtige ungefärbte Zellen mit schwachen Konturen und schwach durchscheinendem inneren Hohlraum (Zone I). Die eine der beiden Zellen der Schicht 4 ist ebenfalls ganz mit Balsam erfüllt.

Die andere dagegen zeigt den Hohlkörper (Zone I) noch mit Luft gefüllt, ebenso die Röhrchen der Zone II.

3. Schicht der Pigment führenden Markzellen. Sie treten uns in Schicht 3 des Bildes wenig differenziert entgegen, da sie ganz und gar mit braunem Pigment erfüllt sind, das durch seine enge Lagerung uns als Schwarz entgegentritt.

Wir haben in diesem Schnitte eine Feder vor uns, die auf der Oberseite leuchtend grün ist und auf der Unterseite blau erscheint. Alle die übrigen Federn, die unter dem Typ I einzurechnen sind und die die Farben gelbgrün, grün, spangrün und dunkelgrün umfassen, zeigen diese Anordnung mehr oder weniger modifiziert. Es bleibt jedoch immer die Anordnung gewahrt: Gelbe Rindenschicht, Kanälchenzellen mit Blaustruktur, Pigmentunterlage. Nur 3 Ausnahmen finden wir in den aufgeführten Schnitten, nämlich *Tanagra gyroloides* 17, *Ampelis rifferi* 47 und *Procnias ventralis* 22, bei denen die Anordnung der Pigmentschicht eine etwas andere ist. Die Markzellen sind nämlich hier frei von Pigment, und dieses ist rechts und links in der Rinde konzentriert. Diese Anordnung wird keinen Einfluß auf die Erzeugung von gutem Grün haben, da die Kanälchenzellen mit Blaustruktur immerhin genug durch das seitlich liegende Pigment abgeblendet werden.

Typ II, wie ihn Fig. 3 auf Taf. 3 und Phot. 3 auf Taf. 4, Schnitt durch einen Ramus von *Chloris chloris*, repräsentiert.

Dieser Schnitt zeigt uns den Idealschnitt durch eine olivgrüne Feder. Eine ähnliche Anordnung zeigen die citronenfarbigen Federn. Wir haben nur 2 Schichten vor uns, die gelbgefärbte Rindenschicht und die Markzellenschicht.

1. Die Rindenschicht ist bei der als Beispiel gewählten Feder besonders gut entwickelt, sie schickt nach der Oberseite der Feder einen hohen Kamm aus, der die Farbwirkung des gelben Lipochroms infolge seiner Höhe verstärken hilft. Diese äußere Hornschicht umschließt vollständig die eingelagerte Schicht der Markzellen.

2. Die Markzellen bilden bei den olivgrünen und citronenfarbigen Federn einen durchgehenden Strang mehr oder weniger regelmäßig angeordneter Zellen, deren oberste meist die bestausgebildeten Kanälchenzellen mit Blaustruktur sind. Wir sehen an unserem Schnitt die oberste Zelle zum Teil mit Balsam ausgefüllt, der sehr große innere Hohlkörper (Zone I) ist noch mit Luft gefüllt und erscheint als Luftblase mit Poren. An dem oberen Rande des Schnittes sehen

wir einige Röhrchen deutlich, ebenso auf der Photographie. Zu bemerken ist noch, daß in unserem Fall die Zellwand sehr dünn ist und die Röhrchen also ohne Unterbrechung hindurchgehen, sie wirken demnach als tiefe Poren oder kurze Röhrchen. Die Intensität des trüben Mediums ist demgemäß eine sehr geringe. Schabt man die obere Rindenschicht dieser Feder ab, so bekommt man sehr schwaches grünblaues Licht. Bei den citronenfarbigen Federn ist die Blaustruktur noch viel gröber gebaut, sie strahlt sehr wenig grünblau aus, das Gelb der Rindenschicht überwiegt, wir erhalten ganz schwachgrün gefärbte Federn.

Alle die unter diesem Typ. II zusammengefaßten Schnitte, die die Farben citronengelb und olivgrün umschließen, zeigen die oben beschriebene Bauart, sie sind fast gleich im Aussehen.

Typ. III, wie ihn Fig. 5 u. 6 auf Taf. 3, Schnitt durch einen Ramus von *Gallinula chloropus* und *Picus viridis* repräsentiert.

Diese beiden Schnitte können füglich als Untertyp von Typ. II angeführt werden, denn sie zeigen von ihnen nur eine geringe Abweichung, nämlich die Anordnung von bräunlichem Schollenpigment (Melanin) innerhalb der gelben Rindenschicht. Entweder finden wir die Melaninschollen um den Markzellenstrang angeordnet (Fig. 5), oder sie haben sich in der Spitze des hohen Kammes gesammelt (Fig. 6). Sie bilden eine wirksame Unterstützung des Gelbs für das Zustandekommen für olivgrün. Diese Anordnung findet sich übrigens nur in sehr wenig Fällen.

Typ. IV, wie ihn Fig. 4 auf Taf. 3, Schnitt durch einen Ramus von *Turacus persa* repräsentiert.

Dieser Schnitt zeigt uns eine starke Rindenschicht mit grünem Pigment (in diesem Falle ein nur den Bananenfressern eigentümliches Pigment, das Turacoverdin), darunter eine starke Markzellenschicht, in der sich vorzüglich ausgebildete Kanälchenzellen mit Blaustruktur vorfinden. Auch diese Anordnung: grünes Pigment plus Markzellen, ist sehr selten. Außer bei den Bananenfressern findet man nur noch grünes Pigment in den Wangenfedern der verschiedenen Eiderentenarten (Vosseler).

Der Einfluß der Radien auf die Bildung der grünen Farbe ist nach meinen Versuchen recht gering. Wenn man z. B. einer prachtvoll grünen Feder von *Tanagra rubricollis* die Radien raubt.

indem man diese vorsichtig abkratzt, so wird die Intensität des Grüns nicht beeinflußt. So ist es bei allen intensiv grünen Federn. Versucht man bei olivgrünen Federn dasselbe (es sind zu diesen Versuchen nur ganz grobe Schwingenfedern geeignet), so wird man auch kaum eine Abnahme der Intensität des Olivgrüns konstatieren können. Ebenso verhält es sich bei den gelbgrünen Federn. Oft findet man grüne Federn, bei denen der obere Teil der Rami ganz ohne Radien ist und trotzdem grünes Licht mit genau derselben Intensität ausstrahlt wie die Teile mit Radien. Dasselbe trifft zu bei olivgrünen und citronenfarbigen Federn. Ich glaube, daß die braunen Radii nur als Reflektoren für das von den Seitenpartien der Rami auszusendende Licht dienen und daß die gelben oder weißen Radii bei citronenfarbigen Federn gewissermaßen nur zufällig von dem gelben Pigment der Rami etwas abbekommen haben und keinen besonderen Einfluß auf die Farbe der Gesamtfedern ausüben können. Im Gegensatz zu Haecker bin ich also zu der Ansicht gekommen, daß die Radien, wenn überhaupt, nur in sehr wenigen Fällen und dann einen äußerst geringen Einfluß haben.

Unterschied zwischen grünen Federn bei männlichen und weiblichen Vögeln.

Wenn man bei Vögeln, welche in beiden Geschlechtern an entsprechenden Körperstellen das Männchen lebhafter, das Weibchen matter grün gefärbt sind, die Rami grüner Federn miteinander vergleicht, so wird man bedeutende Unterschiede konstatieren können. Beim Männchen ist nicht nur der Querschnitt größer und also die Stärke des Ramus sehr beträchtlicher, sondern es sind auch die bei der Erzeugung der Grünfärbung beteiligten Strukturverhältnisse stärker differenziert (Taf. 2 Fig. 49a u. b, 50a u. b). Außerdem heben sich vielfach die Kästchenzellen stärker hervor, die Verteilung der als Absorptionsschicht dienenden Pigmentlage ist, wenn eine solche vorkommt, gleichmäßiger und die gelbe Färbung der Rindenschicht intensiver und leuchtender. Der Unterschied ist derartig in die Augen fallend, daß man z. B. an Bälgen vom Wellensittich, bei welchen Männchen und Weibchen gleichgrün gefärbten Bauch haben, an Querschnitten durch den Ramus den Balg eines Männchens von dem eines Weibchens unterscheiden kann, eine praktische Anwendung, welche vielleicht in vereinzelnden Fällen für den Systematiker von Nutzen

sein könnte. So liegt mir ein Balg eines auf der Etikette [1]) mit „*Dacnis spiza*“ bezeichneten Vogels vor, der mir aus dem Königlichen Naturalien-Kabinett in Stuttgart von Herrn Oberstudienrat Dr. Lampert in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt wurde. Dieser Balg zeigt sehr schön den Einfluß von Hermaphroditismus lateralis auf Hautbildungen, in diesem Falle Federn. Er ist nämlich, wie dies Fig. 7 auf Taf. 3 in Bauchansicht zeigt, ziemlich genau in zwei verschieden gefärbte Hälften geschieden, und zwar ist die linke Hälfte leuchtend blau bis blaugrün und die rechte Hälfte grün bis olivgrün gefärbt. Selbstverständlich ist hier die blaugrüne linke Hälfte die männliche Seite, die grüne rechte dagegen die weibliche, was uns Querschnitte sofort bestätigen.

Über den Einfluß des Ramus auf die Farbe der Feder

läßt sich nur sagen, daß die Natur mit den verschiedensten Anordnungen Gleiches oder fast Gleiches hervorzubringen imstande ist. Immerhin lassen sich einzelne bemerkenswerte Einzelheiten hervorheben. So zeigen uns die Schnitte der Gruppe I (Citrinus, citronenfarbig) eine einfache, ziemlich gleiche Struktur, jedoch werden mit geringen Mitteln beträchtliche Unterschiede in der Intensität der Farbe erzielt, indem auf der einen Seite die Höhe des Kammes und damit die Tiefe der gelben Lage, auf der anderen Seite die Konzentration (Intensität) der gelben Imbibition eine verschiedene ist. Es ist demnach klar, daß der Ramus des männlichen Grünlings (*Chloris chloris*) weit intensiveres gelbes Licht bilden wird als der Ramus von der gelben Kuhstelze (*Budytes flava*) mit seinem geringen Gehalt an gelbem Pigment. Ferner ist es verständlich, daß bei dem Ramus des Citronenzeisigs (*Chrysomitris citrinella*) das in oberen Kammern angeordnete Schollenpigment dem grüngelb einen bräunlichen Schimmer gibt (Taf. 1 Fig. 6).

Die Ramusschnitte der Gruppe II (gelbgrün, flavovirens) zeigen insofern einen gleichmäßigen Bau, als sie im ganzen die Form sehr langgestreckter Elipsen mit senkrechter Hauptachse haben, es wird bei ihnen von beiden Längsseiten oft auch von der Unterseite grünes Licht erzeugt. Infolge der besonderen Gestalt dieser Rami erhält man beim Anblick direkt von oben ziemlich viel gelbe und

1) Die Etikette lautet: 10716 *Dacnis spiza*, L. Gefieder links ♂ rechts ♀ Merkle. 1890. Das Asymmetrische der Farben in der Figur ist z. T. auf den Erhaltungszustand des Balges zurückzuführen.

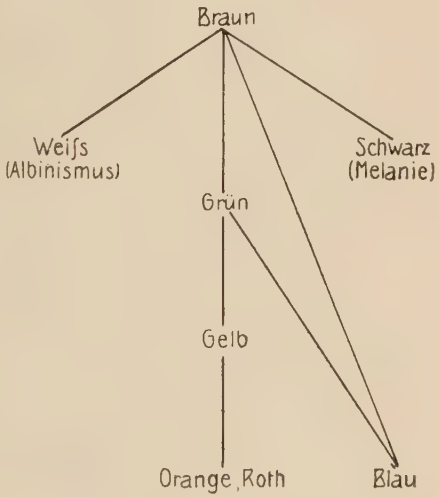
wenig blaue Strahlen, da die obere Kante der Hornschicht meist etwas dicker ist und außerdem eine Summierung der von den verschiedenen Niveaux der Ramuswandungen erzeugten Gelbstrahlen erfolgt, während auf der anderen Seite nur einige wenige der zahlreich vorhandenen Blauzellen, nämlich nur die obersten, zur Wirkung kommen. Wenn man die gleichen Federn von der Seite her ansieht, so erhält man ein bei weitem viel grüneres Licht, als wenn man sie von oben betrachtet, da bei dieser Stellung eine dünnere gelbe Schicht und sehr viele Blauzellen in Wirksamkeit treten. Beim Wellensittich kann man schon beim lebenden in Bewegung befindlichen Tier einen Wechsel der Grünfärbung beobachten.

Die Ramusschnitte der Gruppe III (viridis, grün) zeigen mehr eine Ausdehnung der maßgebenden Schichten in die Breite, was der Schnitt No. 16, Taf. 1 uns am besten demonstriert, wir sehen hier die gelbe Rindenschicht und die darunter gelagerte Blauzellenlage mehr wagerecht angeordnet als bei den vorher besprochenen Schnitten. Es kommen also sowohl die gelbe Rinde als die Blauzellenlage ungefähr in gleichem Maße zur Geltung, wodurch ein schönes mittleres Grün erzeugt wird. Auch bei denjenigen Rami, bei welchen die obere Kante kammförmig ausgebildet ist und der Querschnitt geradezu die Form eines Parabolspiegels hat (Taf. 1 Fig. 20 u. 21), kann man es sich leicht vorstellen, daß die Wirkung der Gelbschicht und die der sehr stark ausgebildeten Blauschicht einander im wesentlichen gleich ist, so daß ein mittleres Grün entsteht. Auf die Federn mit seitlich gelegenen Pigmentblenden sei hier nochmals hingewiesen. Ähnliche Verhältnisse zeigen die Ramusschnitte der Gruppen IV und V (spangrün und dunkelgrün), wenn auch nicht mehr so ausgeprägt. Hier sind die Blaustrukturzellen auch meist nicht mehr so vorzüglich ausgebildet, so daß wir ein dunkleres blaues Licht, also auch ein dunkleres Grün erhalten.

Die Ramusschnitte der Gruppe VI (olivaceus, olivengrün) zeigen einen ganz ähnlichen Habitus wie die der Gruppe I. Hier sind die Blauzellen im ganzen etwas besser ausgebildet, und da im allgemeinen, wie die Tabelle S. 19 zeigt, bei diesem Typus die Radien etwas mehr braun gefärbt sind als bei Typ. I, so möchte ich hier die Möglichkeit zugeben, daß die Radien eine gewisse Rolle spielen. Das erstgenannte Verhältnis bewirkt ein stärkeres Hervortreten der Grünfärbung als bei Gruppe I, während das von den Radii reflektierte Licht die Umwandlung in olivgrün bewirkt.

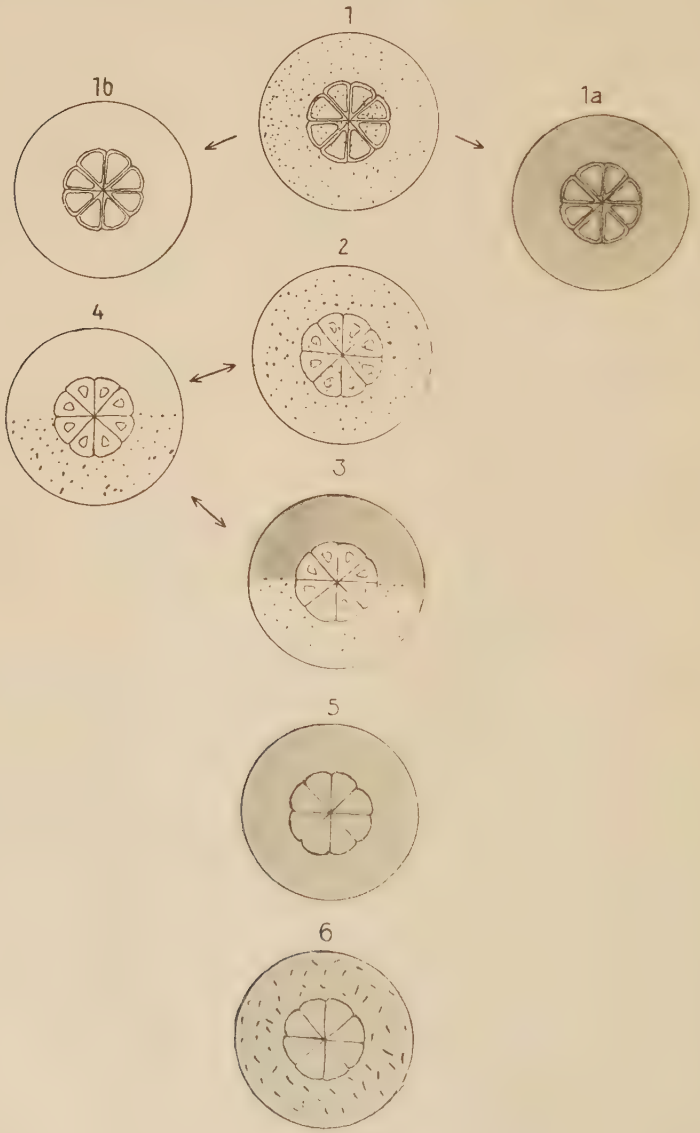
Über die phylogenetische Stellung der Grünfärbung der Federn zu den anderen Farben.

Fragen wir uns nun noch zum Schluß, welche Stellung die grüne Farbe zu den anderen Federfarben einnimmt, so kommen wir zu einem ähnlichen Schema, wie es Haecker in der Arbeit von 1902 gibt (Schema D). Ich glaube jedoch auf Grund meiner eigenen Untersuchungen dieses Schema insofern modifizieren zu müssen, als zwischen braun einerseits und grün und blau andrerseits ein äußerlich als braun wirkendes Zwischenstadium anzunehmen ist, in welchem bereits die Blaustruktur mehr oder weniger deutlich ausgebildet ist, ihre Wirkung aber durch die starke Pigmentierung kompensiert wird. Die Vorläufer der Blaufärbung sind aber bereits in allen braunen Federn als Markzellen mit durchlöcherter Wandung enthalten. Wir erhalten also eine Anordnung wie Schema E. Braun war die ursprüngliche Farbe, aus der sich gewissermaßen alle andern Farben herausgebildet haben. Fig. 1 im Schema E zeigt einen idealen Querschnitt durch eine braune Feder. Die Markzellen zeigen sehr dünne Wandungen mit mehr oder weniger ausgebildeten Porenkanälchen, die hier nicht abgebildet sind. Durch die ganze Feder ist gleichmäßig braunes Schollenpigment verteilt, die Feder erscheint dadurch mehr oder weniger intensiv braun gefärbt, je nachdem die Pigmentschollen (Melanine) enger oder weiter liegen. Reichert sich das braune Pigment so an, daß die Schollen dicht aneinander liegen, so ergibt sich eine schwarze Feder (Fig. 1a). Wird gar kein Pigment eingelagert, so entsteht eine weiße Feder (Fig. 1b). Ein braunes Aussehen werden nun auch solche Federn haben, bei denen aus irgendwelchen, vielleicht mechanischen Gründen die Wandung der Markzellen verstärkt sind und danach die Bedingungen für die Erzeugung eines trüben Mediums und die Re-



Schema D.

flexion blauer Strahlen gegeben sind (Fig. 2). Zieht sich nun das Pigment auf einen Teil der Rindenschicht und der Markzellen zurück, so kommen die Kanälchenzellen zum Vorschein, und wir bekommen je nach dem Ausbildungsgrad des trüben Mediums eine blaue Feder



Schema E.

(Fig. 4). In einer anderen Weise wird das braune Pigment der Oberseite der Rami durch ein gelbes Lipochrom ersetzt. Da werden zunächst die oberflächlich gelegenen Blauzellen unter der gelben Lage besser zur Wirkung kommen als unter einer braunen Lage, ein schwaches Grün wird sich entwickeln (Fig. 3). Je nachdem sich nun in der oben angegebenen Weise die Form und die Struktur des Ramus stärker differenziert, kann ein lebhafteres Grün oder, nach Wegfall des Gelb, abermals ein Blau zum Vorschein kommen. Nimmt die Imbibition der Rinde mit dem gelben Lipochrom überhand, d. h. wenn das gelbe diffuse Pigment die ganze Rinde des Ramus erfüllt und das braune Melanin vollkommen verdrängt, so entsteht die gelbe Feder (Fig. 5). Infolge rein chemischer Modifikation des gelben Lipochroms kommen Orange, Rot, Karmin oder in seltenen Fällen Violett (*Cotinga amabilis*) zustande (Fig. 6).

Zusammenfassung.

Die hauptsächlichsten Ergebnisse der Arbeit sind folgende:

1. Alle grünen Federn weisen in größerem oder geringerem Maße die von Haecker u. Meyer für Blaufedern beschriebene, als trübes Medium wirkende, Blaustruktur auf.

2. Die Vorläufer der Blaustruktur treten auch bei braunen, weißen, gelben, roten und violetten Federn in verschiedenen Ausbildungsgraden hervor.

3. Die Darstellung der Poren der Blaustrukturzellen erfolgt am besten durch Injektion der Zellen mit Spirituslack (S. 6).

4. Die verschiedenen Typen der Grünfärbung entsprechen im ganzen auch verschiedenen Strukturverhältnissen, wie sie namentlich auf Ramusquerschnitten hervortreten.

5. Die Pigmentierung der Radien spielt bei der Erzeugung der grünen Farbe, wenn überhaupt, nur eine geringe Rolle.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel 1 u. 2 s. S. 16—20.

Tafel 3.

Fig. 1. Querschnitt durch einen Ramus von *Pitta maxima*. Blaue Feder von der Flügelbeuge mit Spirituslack behandelt. Zelle *b* ist noch ganz mit Luft gefüllt, zeigt am Rande die Kanälchen und hat die braunrote Farbe des trüben Mediums im durchfallenden Lichte. Zelle *a* ist ganz mit Canadabalsam gefüllt, deswegen ganz durchsichtig. Zellen *c*, *d*, *e*, *f* teilweise mit Canadabalsam gefüllt, zeigen verschiedene Ansichten der Kanälchenzellen (vgl. Photographie auf Taf. 4 Fig. 1).

Fig. 2. Querschnitt durch einen Ramus von *Tanagra rubricollis*. Oben grüne und unten blaue Feder von der Brust: mit Spirituslack behandelt. Zeigt 4 Lagen: 1. gelbe äußere Hornschicht. 2. obere Schicht der Kanälchenzellen, 3. Pigmentschicht, 4. untere Schicht der Kanälchenzellen. Zellen *a* noch teilweise mit Luft gefüllt, zeigen am Rande die Kanälchen. Zellen *b* ganz mit Canadabalsam gefüllt, zeigen in schwachen Konturen den Hohlraum. Zelle *c* fast ganz mit Canadabalsam gefüllt, zeigt die Kanälchen am Hohlraum (vgl. Photogr. auf Taf. 4 Fig. 2).

Fig. 3. Querschnitt durch einen Ramus von *Chloris chloris*. Citronenfarbige Feder vom Bürzel mit Spirituslack behandelt. Die obere Zelle zeigt den großen Hohlraum und einige Kanälchen an der Oberfläche desselben (vgl. Photogr. auf Taf. 4 Fig. 3 u. 4).

Fig. 4. Querschnitt durch einen Ramus von *Turacus persa*. Grüne Flügeldeckfeder mit Spirituslack behandelt. Zeigt 4 Kanälchenzellen in verschiedenen Stadien, die Kanälchen sind gut sichtbar. Die äußere Hornschicht ist grün (Turakoverdin).

Fig. 5. Querschnitt durch einen Ramus von *Gallinula chloropus*. Olivgrüne Feder vom Rücken. Zeigt braune Melaninkörnchen in die gelbgefärbte äußere Hornschicht eingelagert.

Fig. 6. Querschnitt durch einen Ramus von *Picus viridis*. Olivgrüne Flügeldeckfeder. Zeigt an der Spitze braune Melaninkörnchen eingelagert.

Fig. 7. Bauchansicht von *Daenis spiza* mit Hermaphroditismus lateralis.

Tafel 4.

Fig. 1. Photogr. desselben Querschnitts wie Fig. 1 auf Taf. 3.

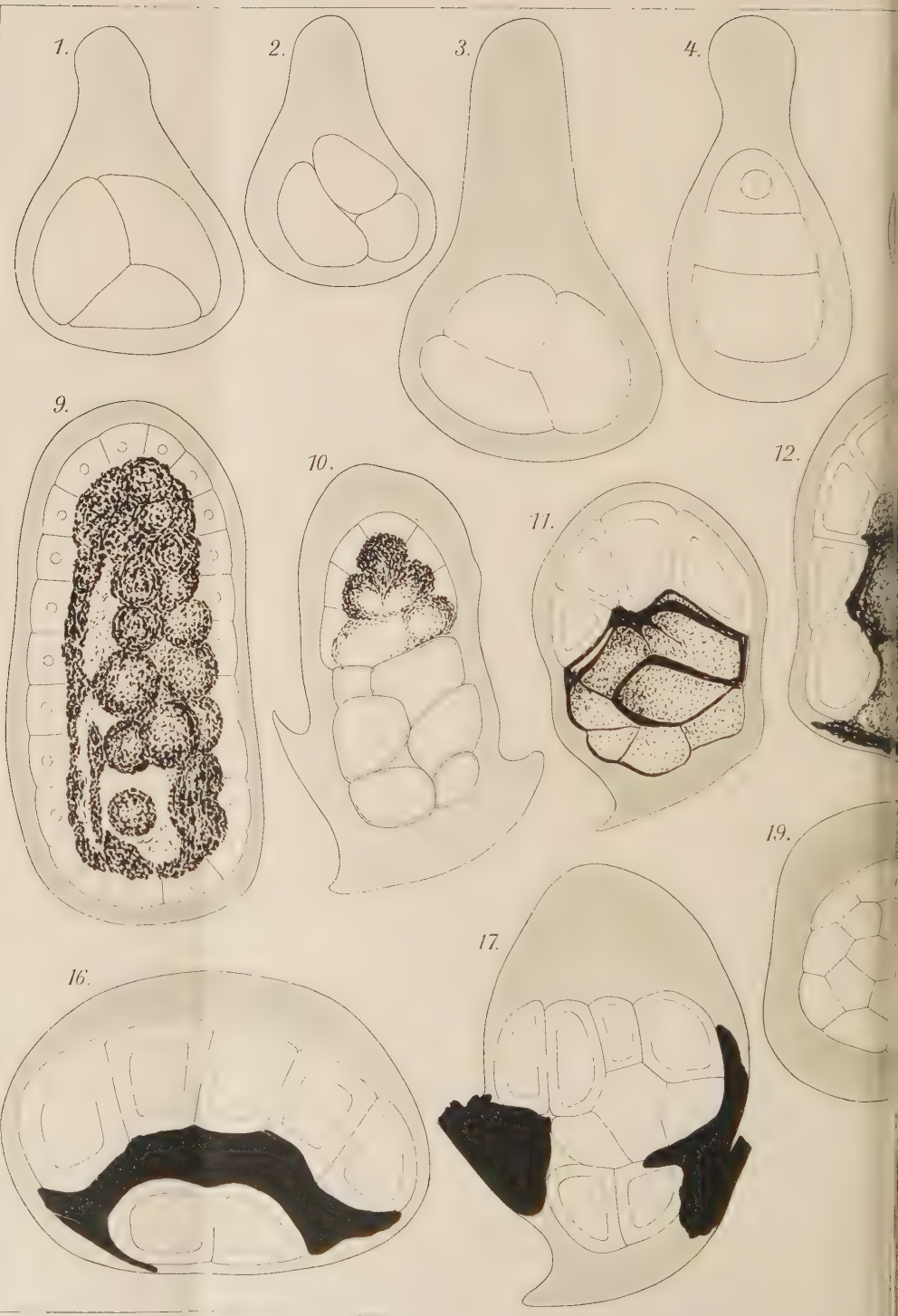
Fig. 2. Photogr. desselben Querschnitts wie Fig. 2 auf Taf. 3.

Fig. 3 u. 4. Photogr. von Querschnitten wie Fig. 3 auf Taf. 3.

Lebenslauf.

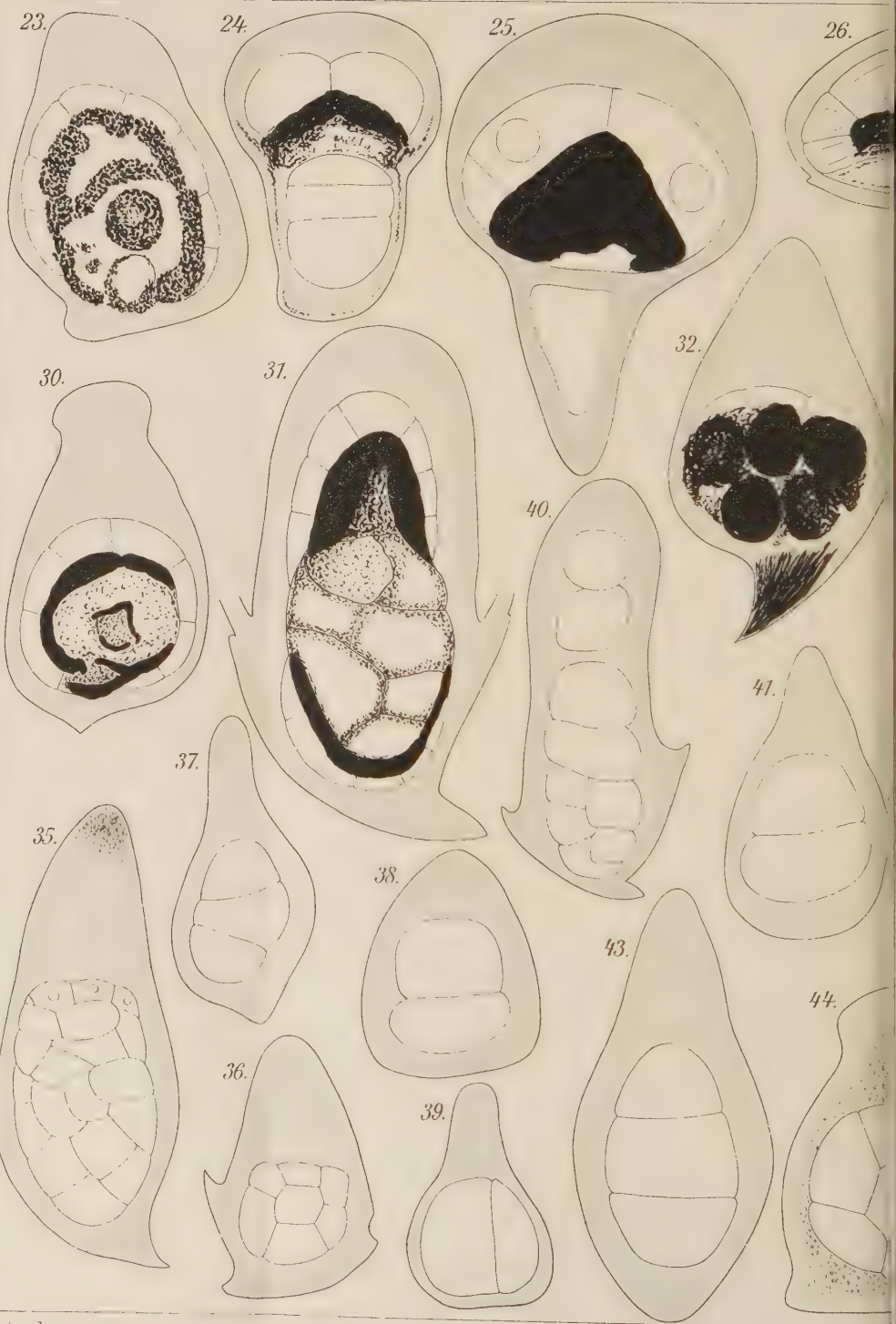
Ich, Paul Günther Kniesche, bin geboren am 30. April 1883 als Sohn des Tuchfabrikanten Paul Kniesche in Kottbus. Ich besuchte die Realgymnasien zu Kottbus, Rathenow und Weimar; auf letzterem bestand ich die Reifeprüfung. Nach Erledigung des praktischen Lehrjahres studierte ich auf der Hochschule Charlottenburg Maschinenbau. Im Wintersemester 1907 siedelte ich an die Universität Berlin über, um Zoologie zu studieren; im Wintersemester 1908 ging ich an die Universität Halle-Wittenberg. Im Jahre 1909 arbeitete ich an der Zoologischen Station zu Rovigno, war dann zu Studienzwecken einige Monate in Rumänien und beschäftigte mich 1910 vier Monate an dem Bakteriologischen Institut von A. Joergensen in Kopenhagen. Vom Wintersemester 1911/12 ab praktizierte ich am Zoologischen Garten zu Halle a. S.; seit 1. April 1913 bin ich am Zoologischen Garten zu Leipzig als Direktorialassistent tätig.

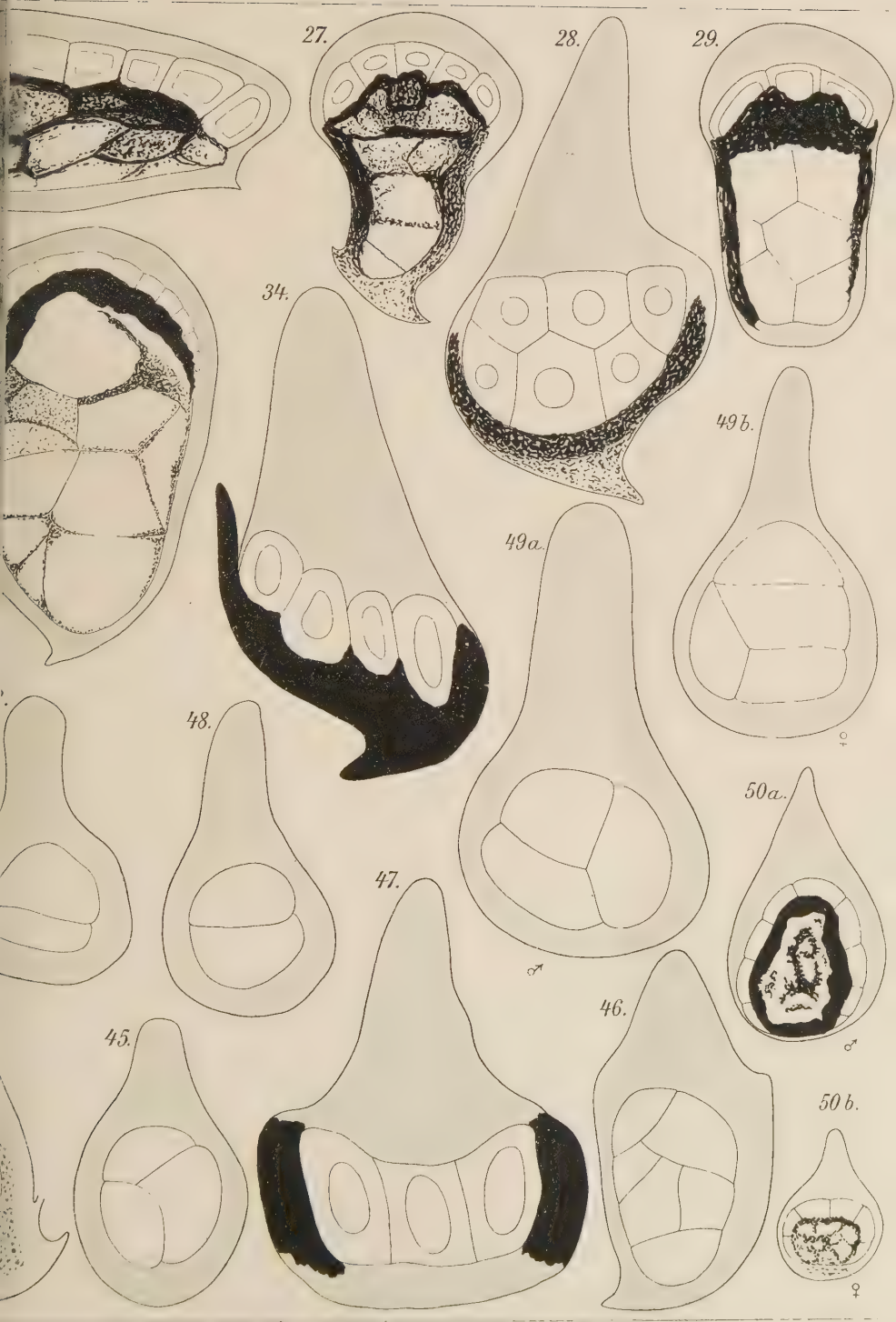
Leipzig, im Juli 1914.


1.
2.
3.
4.
9.
10.
11.
12.
16.
17.
19.

cher in Jena

Lith. Anst. v. Alfred Vulpius, Jena


23.
24.
25.
26.
30.
31.
32.
40.
41.
37.
35.
38.
43.
44.
36.
39.



her in Jena.
Lith. Anst. v Alfred Vulpius, Jen

d c b a a 1.

3.

f e 6.

2.

a a b b

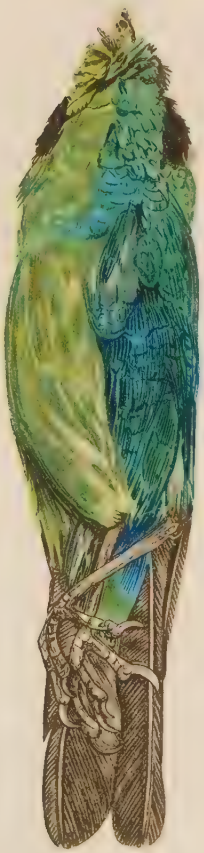
f c

4.

5.

7.

♀ ♂



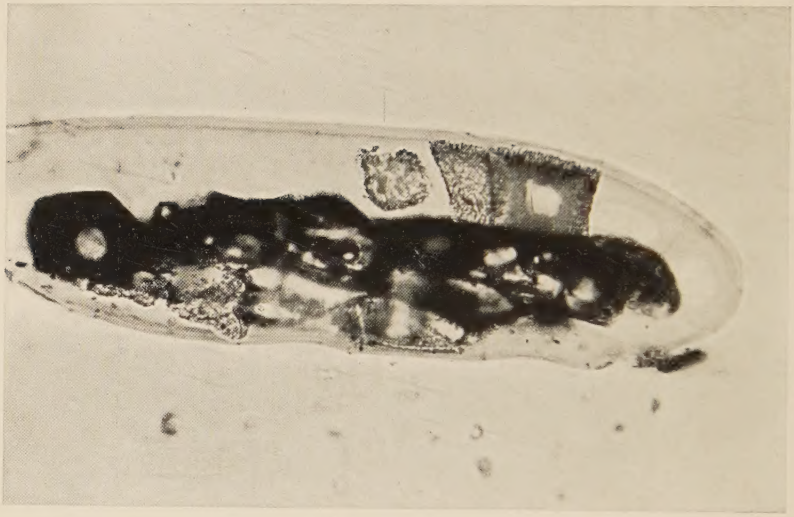


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.